第 37 卷第 5 期 2017 年 3 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.5 Mar.,2017

DOI: 10.5846/stxb201509231959
谢余初,巩杰,齐姗姗,张影,郭建军.甘肃白龙江流域生态系统粮食生产服务价值时空分异.生态学报,2017,37(5):1719-1728.
Xie Y C, Gong J, Qi S S, Zhang Y, Guo J J.Assessment of ecosystem food production and its spatiotemporal heterogeneity in the Bailong River Watershed, Gansu.Acta Ecologica Sinica,2017,37(5):1719-1728.

甘肃白龙江流域生态系统粮食生产服务价值时空分异

谢余初[1,2],巩 杰[1,*],齐姗姗[1],张 影[1],郭建军[1]
1 兰州大学, 资源环境学院 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000
2 广西师范学院, 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001

摘要:粮食生产服务是区域生态系统主要的服务功能之一,也是人类福祉和社会发展的基础,受自然环境和社会经济发展而不断变化。然而,目前国内外尚缺乏统一的生态系统服务价值的时空动态评估方法,尤其是在脆弱的山区过渡带区域。以灾害频发的脆弱生态过渡带——甘肃白龙江流域为例,尝试引入自然环境和人文社会要素对区域生态系统生产服务经济价值进行系数调整与修正,构建生态系统服务价值的计量评估模型,测算流域内生态系统生产服务价值并分析其时空差异性。结果表明:(1)1990—2010 年间白龙江流域耕地面积波动起伏较大,但流域内生态系统生产服务价值却表现出持续上升的趋势,至 2010 年平均生产服务价值达 186.74 万元。生态系统生产服务价值空间格局变化不大,其高产区约占 42.4%以上,主要分布在宕昌县西北部的岷江两岸和舟曲城关镇—武都汉王镇的白龙江两岸及其以北区域。(2)方法改进后,白龙江流域生产经济价值相对减小(172.74 万元),间接反映了研究区内滑坡、泥石流等自然灾害和区位人文社会要素对生产经济价值的影响,更符合流域的实际情况。

关键词: 生态系统服务;粮食生产;经济价值;时空变化;甘肃白龙江流域

Assessment of ecosystem food production and its spatiotemporal heterogeneity in the Bailong River Watershed, Gansu

XIE Yuchu[1,2], GONG Jie[1,*], QI Shanshan[1], ZHANG Ying[1], GUO Jianjun[1]
1 *Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*
2 *Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf (Ministry of Education), Guangxi Teachers Education University, Nanning* 530001, *China*

Abstract: Terrestrial ecosystems function supply food (*e. g.* grains, vegetables), maintain diversity, and prevent environmental contamination. Thus, it is important to human well-being. Food production is vital for the sustainable development of human populations, and its dynamic spatiotemporal factors are closely related to spatial geographical heterogeneity and social development. However, there are only a few studies on the universal dynamic evaluation methods for ecosystem function used at the regional scale, especially in the fragile mountains of China. Bailong River Watershed (BRW) is located in the transitional ecotone along the Tibet Plateau, Loess Plateau and Qinba Mountains, and it was selected to analyze the spatiotemporal heterogeneity of ecosystem food production. Based on a field survey employing land use data, model simulations, and GIS spatial analysis, the ecological conditions and socio-economical factors were used to revise the previously held dogma which put forward by Costanza in 1997. Specifically, sources of hazards reflected the differences in ecological conditions. The resource scarcity theory and the willingness to pay were used to revise and calculate

基金项目:国家自然科学基金项目(41271199);中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2014-265,lzujbky-2014-117)
收稿日期:2015-09-23; **网络出版日期**:2016-07-13

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: jgong@ lzu.edu.cn

the economic developmental coefficient. A dynamic evaluation model was constructed with the above corrections method and applied for ecosystem food production services assessment in the Bailong river watershed during 1990—2010. In addition, spatiotemporal heterogeneity and food production were analyzed by ArcGIS 9.3. The results indicated that the supply of cropland distributed in the river valley and bank area of BRW, hill slopes, low mountain regions and decreased. The area of instable cropland and the index of social progress increased. In the period of 1990—2010, ecosystem food production value increased. The mean value of food production was 1.8674 million Yuan in 2010. In addition, the spatial distribution pattern change of food production value was not obvious. Land accounting for high yield of food production value was 42.4% of the total area, which was mainly distributed in the valleys of BRW between Zhouqu and Hanwang town, the northwestern part of Tanchang County. The low-yield areas of food production distributed in the national nature reserve and forest. Our data change how the value of China′s terrestrial ecosystem was previously defined on a national to regional scale. Compared with a previous evaluation model, the change in food production was smaller using our method, and its spatial pattern was a better fit to the natural system of the Bailong river watershed. These data indicate that natural hazards (such as landslides and debris) and human activities affected food production and its value.

Key Words: ecosystem service; food production; economic value; spatiotemporal change; bailong river watershed of Gansu

生态系统是人类赖以生存和发展的基础,为人类提供了产品和其它生产生活原料,具有极高的生态系统服务价值[1-2]。尤其是农田生态系统,其农产品生产与供给功能,不仅是区域粮食生产和社会发展的关键,也是人类福祉的关键影响因素[2-4]。然而,随着经济快速发展、人口持续增长以及农业资源不合理的利用,农田生态系统正在或已经发生退化,甚至引发了一系列的粮食安全和生态安全问题[4-6]。尤其是位于生态脆弱过渡带的贫困山区,农业生产条件差、后备耕地资源严重不足、农业经营方式落后以及自然灾害频发等因素正在深刻影响着区域生态系统的生产力稳定性[6]。因此,深入了解和分析生态系统粮食生产供给服务功能,探讨区域生态系统生产服务价值的时空差异性,不仅有助于脆弱山区农业生产发展与产业结构转变,而且能有效地协调山区生态环境保护与可持续发展。

近年来,生态系统服务价值研究越来越受到学者和各国政府的关注,并取得了一定成果[2-3]。孙新章等[7]初步计算了 2003 年中国农田生态系统的农产品生产、社会保障、气体调节、水土保持、水资源消耗等多项功能。严恩萍等[8]基于我国陆地生态系统单位面积价值当量因子的方法定量分析了 1990—2011 年间三峡库区生态系统服务价值的变化状况。Wang 等[9]针对中国农田生态系统粮食供给的时空格局进行了细致分析,并指出当前中国北方地区粮食生产已接近饱和状态,南方粮食供给压力大于北方。Estel 等[10]以 MODIS 数据为媒介,用遥感的手段分析和探讨了欧洲地区农田撂荒与复垦的变化趋势。这些研究多是对农田生态系统多功能进行综合评价或从粮食安全的角度分析农田生产功能或耕地的变化状况,而针对区域生态系统某一核心服务功能(如农产品生产功能)的时空动态变化深入细致的报道相对较少。在研究方法上,多数研究是直接借鉴或运用 Costanza 的研究方法和谢高地等提出的中国生态系统服务价值系数对不同区域或不同时段内的生态系统服务价值案例评估与研究,其研究结果是静态的价值[11-13],然而生态系统服务价值是随着自然环境和社会经济条件的变化而不断变化的。因此,在评价生态系统服务价值过程中,如何综合考虑区域自然环境要素(如气候、地貌、土壤和灾害等)和社会经济发展(如资源紧缺程度、市场交易、交通物流、政策和人们支付意愿等)的共同影响是当前生态系统服务研究的难点和热点之一[11-14]。李晓赛等[12]从生物生产力和社会支付两方面对生态系统服务价值当量因子表进行功能性和经济性调整,构建了生态系统服务价值的动态评估模型。谢高地等[13]通过利用 NPP、降水和土壤保持调节等对单位面积价值当量因子评估方法进行了改进和发展,并评估了全国生态系统服务价值在时间和空间上的状况。Wang 等[14]分析了土地利用与覆被变化对我国生态系统服务价值时空变化的影响。由此可见,从生态系统类型及其质量的时空差异性或区域环境和社会的异质性等方面对生态系统服务价值的研究方法进行改进和发展,以反映生态系统服务在时间和空间上的动态

变化特征是可行的。

本文以甘肃白龙江流域生态系统生产服务价值为研究对象,对当前生态系统服务价值当量表进行区域调整,使之适应中小尺度范围生态系统服务价值的评估;同时,考虑自然环境要素变化和社会经济区位差异条件对生态系统生产服务价值的影响,旨在分析研究区生态系统生产服务价值及其时空动态变化特征,为流域生态系统服务功能管理提供科学依据。

1　研究区概况

甘肃段白龙江流域(32°36′— 34°24′N,103°0′—105°30′E)地处甘肃东南部,是我国滑坡和泥石流灾害四大高发区之一,其干流长约 475 km,流域面积约 18437.7 km^2(图 1)。流域内地形复杂,山峦叠嶂、沟壑纵横、坡陡流急,素以“山大沟深”著称。白龙江流域属于暖温带向北亚热带过渡的气候交错区,气候垂直地带分异明显,冬寒夏凉、温凉湿润,年平均气温 6—14.9℃,年平均降水量 400—850 mm,且集中在 5—10 月。流域内植物种类繁多、森林广布,植被空间分布差异大,具有明显的水平分布和垂直分布规律。花椒、油橄榄、橘柑、核桃和油菜、玉米、水稻、茶叶等是主要的农林经济作物;当归、党参、大黄、红芪、柴胡等药材也广泛分布。由于受环境条件、区位和历史因素等影响,该区发展仍十分落后。2012 年人均 GDP 不足全国平均水平的 40%,是我国西部地区“老、少、边、穷”区域的一个典型代表[15]。

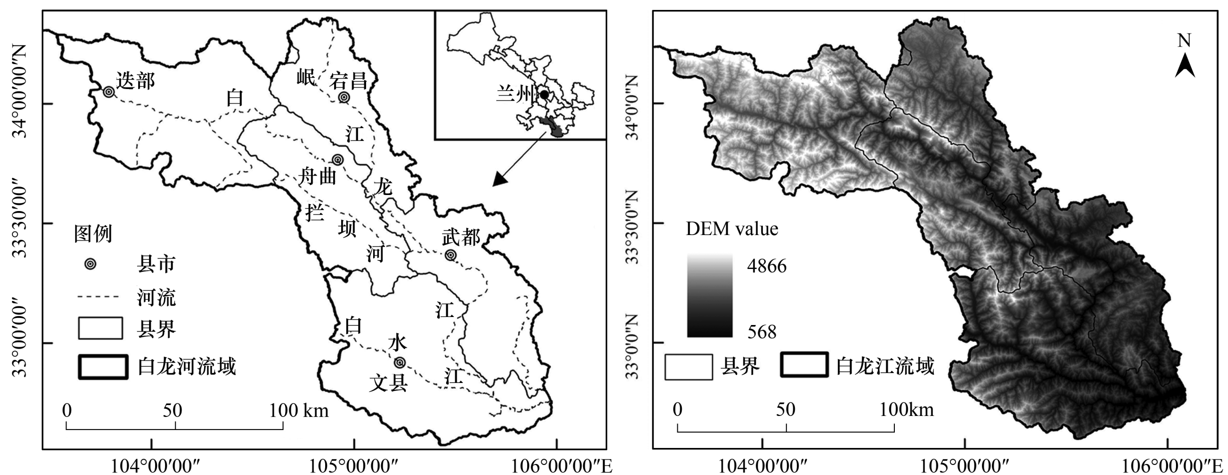


图 1　研究区位置及其高程

Fig.1　Location and DEM of the study area

2　研究方法

2.1　改进前评估方法及不足之处

生态系统服务价值往往依赖于不同空间和时间尺度上的生态和地理过程[12-14,16-17],在大中尺度的区域水平上,土地利用结构和功能的变化直接影响着生态系统服务价值供给的数量和质量,因此基于土地利用变化的生态系统服务研究是目前较为广泛的研究模式之一[16-20]。Costanza 等[21] 1997 年提出基于全球土地利用与覆被变化的生态系统服务价值和生态资本核算。在此基础上,谢高地等[22]根据我国的实际情况及对国内生态学学者进行问卷调查,制定了中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量因子表。生态系统服务价值当量因子是指生态系统产生的生态服务的相对贡献大小的潜在能力,其经济价值量等于当年全国平均粮食单产市场价值的 1/7[12-13,17-20]。因此,农田生态系统生产功能的单位面积经济价值计算公式为:

$$E_a = \frac{1}{7} \times \left(\sum_{i=1}^{n} m_i p_i q_i \right) \times \frac{1}{M} \qquad i=1,2,\cdots,n \tag{1}$$

式中,E_a为单位农田生态系统提供农产品生产服务功能的经济价值(元/hm^2),i 为农作物种类;白龙江流域主要作物为小麦、玉米、水稻、油菜、蔬菜瓜果以及当归、红芪等中药材;m_i为第 i 种农作物面积(hm^2);P_i为第 i 类农作物产品的平均市场价格(元/kg^2);q_i为第 i 种农作物产品单产(kg/hm^2);M 为研究区农作物总面积(hm^2)。

根据当量因子表可得研究区不同生态系统单位面积的服务价值系数,在 Costanza[21,23]理论基础上计算得到区域生态系统服务价值量,即:

$$\mathrm{ESV} = \sum_{k=1}^{n} A_k \times VC_k \tag{2}$$

式中, ESV 为生态系统服务价值(万元); A_k为研究区第 k 类土地利用类型的面积(hm^2);VC_k为生态系统价值系数(元/hm^2)。考虑到研究区的多元农业生产(粮食作物、经济林果、药材茶叶等)和土地利用格局主要是 1990 年前后逐渐形成的,且 Landsat TM 影像的质量和可用性以及退耕还林还草工程的实施对区域农业生产结构和土地利用变化的影响。本文以 1990 年、2002 年、 2010 年为时间节点来分析和评价近 20 年来白龙江流域土地利用和粮食生产服务经济价值的时空变化。

2.2 改进后的评估方法

鉴于上述评估方法的理论基础,考虑到生态系统服务价值区域间的差异性和同类生态系统的空间异质性,主要体现在各区域间地理要素之间的区位差异上,而这种区位差异在自然和人文社会因素上又表现为自然环境条件的不同、资源稀缺性和社会发展水平的差异[11-14,16-18]。因此,对生态系统服务功能价值的判定应综合考虑区位自然环境条件和区位人文社会要素两方面的影响。

(1)生态系统服务价值区位自然环境条件的差异,主要表现在影响着区域生态系统健康发展的综合生态风险上,因此,可用区域生态风险源综合危险度来反映[16-18]。白龙江流域自然灾害频繁,深刻地影响着流域内生态系统脆弱性及其生产服务功能。辨识和区分不同区域生态风险源(灾害源)作用范围、影响程度及发生频率,构建流域综合生态风险源危险度评价体系,并针对多重风险源对区域生态系统生产功能的潜在影响力的差异性,利用相对权重系数来区分各生态风险源危险度差异[16-17,24],可间接反映自然环境条件因子对生态系统农产品生产功能的影响。

$$H = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \times R_i \tag{3}$$

式中,H 为综合生态风险源风险度指数;β_i表示第 i 类风险源权重;R_i为第 i 类风险源对农田生态系统影响的力度;n 为生态风险类型总数。白龙江流域主要生态风险源是地震、滑坡、泥石流、土壤侵蚀、干旱等。

(2)人文社会因子的差异对生态系统服务价值的影响主要体现在资源的紧缺程度和人们对生态价值的认识程度及支付意愿上,是随着人们认知和市场波动而动态变化的[11-13]。效用价值论认为商品的价值产生于其效用和稀缺性,即资源紧缺程度是影响价值的重要因素[25]。白龙江流域生态系统生产服务价值的紧缺程度主要体现在耕地供给能力上,可通过流域内人均耕地面积与全国人均耕地面积的比重来反映研究区耕地资源的紧缺程度。表达式如下:

$$B_i = a_i / A_i \tag{4}$$

式中, B_i是研究区耕地资源紧缺程度,a_i和 A_i分别表示第 i 年白龙江流域人均耕地面积和全国人均耕地面积(hm^2/人)。

人们对生态系统服务的认知与支付意愿主要体现在对服务的需求程度上,是随着社会发展而不断变化的。在此,引入社会发展指数进行价值的修正,尽可能地反映当时社会经济发展水平下的区域生态系统生产功能的现实经济价值[11-12,16-18]。社会发展程度与社会经济水平的关系可用皮尔生长曲线模型来表示[26],具体计算公式如下:

$$L = \frac{1}{1 + e^{(3-1/En)}} \tag{5}$$

式中, L 为社会发展程度指数;e 为自然对数底数;En 为区域恩格尔系数,主要来源于统计年鉴和农户调查。

(3)生态系统服务价值的估算

假设区域生态系统生产服务价值受区位自然环境条件和社会发展程度的影响,即生态系统服务的空间异质性影响着服务价值的变化,将生态系统的分类与区域土地利用类型相对应,梳理各影响因子与生态系统服务价值的数量关系,构建生态系统服务价值计量模型,如下:

$$ESV = \sum A_k \times VC_k \times (\varphi 1 \times (1 - H) + \varphi 2 \times (B_i + L)) \quad (6)$$

式中,ESV 为生态系统服务价值(万元); A_k、VC_k、H、L 同上,φ为权重。各指标均进行标准化处理。改进后的评价方法,充分考虑了自然条件和社会经济发展(人的主观价值)评估因素,避免了忽视自然环境和人文因素影响得到的形式化的客观价值,其获得的生态系统服务价值才有可能被市场化[11-14]。其次,将静态的生态价值估算转换为能反映社会经济发展与生态资源稀缺性的动态变化相关联起来[11-14,16-18]。

3 结果与分析

3.1 甘肃白龙江流域耕地空间分布

由图 2 可知,甘肃白龙江流域绝大部分农田属于坡耕地,且在 15—25°之间分布最广,约占 33%。在 0—8°和≥35°的区间范围内耕地面积分布相对较少。这主要是由于:研究区山大沟深,山地分布广泛,而平原盆地及平坦缓丘地带相对较少,即适合农业发展的 0—8°区间的平坦地区面积极少,仅占研究区总面积的 4%;其次,≥35°的区间基本上是山地,极其不利于农业的开发,因此耕地分布面积最小。从各不同坡度区间上来看,0—8°区间内耕地是主要的景观类型,其面积比重在 40.3%以上。在 8—15°和 15—25°区间耕地、林地和草地占主导优势。≥25°的区间耕地面积开始逐渐减少。从不同海拔高度分布情况上看,耕地面积在海拔 1500—2000m 区间分布最大,其次是 568—1500m 和 2000—2500m 区间。从时间上看,耕地面积总体呈现先增长后减少的趋势。

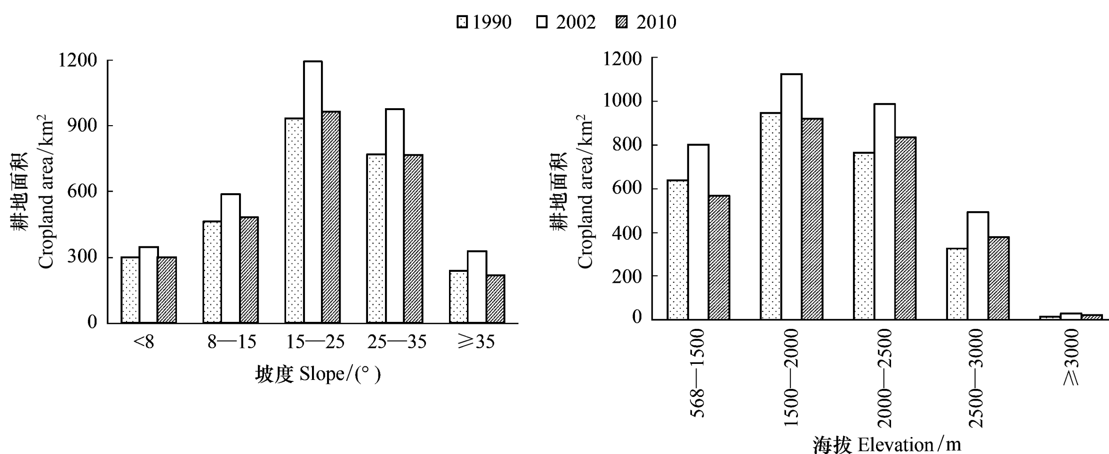


图 2 1990—2010 年甘肃白龙江流域不同坡度和高程带上耕地面积分布情况

Fig.2 Areal change of cropland in different slope-zone and elevation-zone from 1990 to 2010 in BRW of Gansu

3.2 流域生态系统生产服务价值的影响因子

由图 3 可知,白龙江流域综合生态风险源危险度呈现出一定的规律性,整体沿白龙江两岸呈带状分布。高风险以上区域主要集中分布在舟曲—武都—文县段白龙江两岸及其以北区域(尤其是河谷地两岸),其面积约占研究面积的 33.31%。中度危险区面积约占 25.03%,多位于高危险区域周边,主要分布在武都、舟曲、文县和宕昌县等区域。中度和高度以上的风险区面积比重超过研究区总面积的一半以上,可见地震、滑坡、泥石流、土壤侵蚀和干旱等风险源对生态系统影响巨大,也间接表明流域内生态风险防范任务的艰巨。时间上,近 20 年来白龙江流域风险源危险度总体呈现轻微减弱的趋势,其高危险区面积比重由 1990 年的 12.87%降

至 2010 年的 12.65%。然而,近年来白龙江流域灾害发生的频率、强度及其破坏程度呈无规律性,年均经济损失呈增长的趋势,以 2010 年舟曲特大泥石流造成的损失最大。由此可见,尽管流域内主要风险源综合危险度有减弱的趋势,但在个别年份局部区域破坏性仍极大。

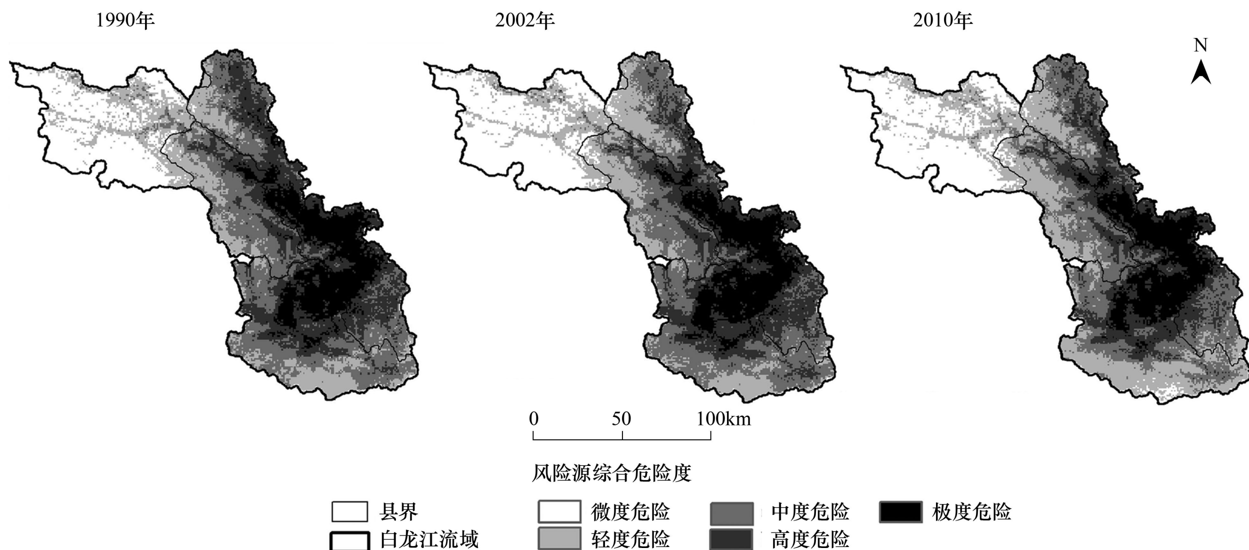


图 3 1990—2010 年甘肃白龙江流域主要生态风险源危险程度分布图

Fig.3 Spatial distribution of the main ecological risk sources from 1990 to 2010 in the BRW of Gansu

区域资源供给能力和社会发展程度反映着本区域内对生态系统服务需求的紧缺程度。区域资源供给能力越小,其所对应的生态服务越紧缺、价值越高;同时,社会发展程度越高,当地人们对生态系统服务数量与质量的要求就越高,人们的支付意愿也越高。考虑到数据获取可能性和研究区的实际特征,本文以流域内各市县社会发展程度的平均水平来代替整个流域的社会发展程度。由图 4 可知,1990—2010 年间白龙江流域耕地资源供给能力呈现不断减弱的趋势。社会发展水平呈现不断上升的趋势,其数值从 0.20 升至 0.25,其年均增长率达 1.97%;表明近 20 年来流域内社会经济不断发展,生态系统单位面积生产服务价值越高,人们生活水平逐渐提高,对生态系统服务需求的种类、数量和质量也逐渐上升。

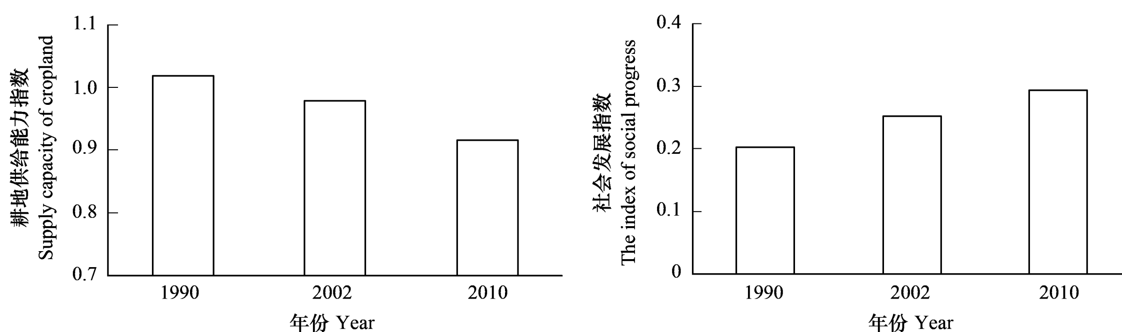


图 4 1990—2010 年甘肃白龙江流域耕地资源供给能力及社会发展指数

Fig.4 The supply capacity of cropland and index of social progress from 1990 to 2010 in the BRW of Gansu

3.3 生态系统生产经济价值的时空变化

将白龙江流域土地利用类型与谢高地等分类进行比对,其中建设用地(包括居民点、交通用地、工矿用地等)的生产经济服务价值取值为零;同时,流域内主要农作物产品价格取 2008—2011 年间甘肃省市场批发价格的平均值,进而计算 1990、2002、2010 年 3 个时期修正前后流域生态系统生产服务价值。

从区域生态系统的自身价值角度出发,仅考虑生态系统生产服务价值的变化与耕地面积变化、种植结构

及单位面积产量等因素相关。在时间上,1990—2002 年间改进前白龙江流域生态系统生产经济价值呈增加趋势,其最大值和平均值分别从 283.8 万元与 149.3 万元增至 356.1 万元与 174.4 万元。2002—2010 年间研究区生产服务经济价值持续增长,2010 年达 186.41 万元,其中最大值和平均值年平均增长幅度分别为 1.32% 和 0.86%,较 1990—2002 年间年增长幅度相对较减少。总体上,近 20 年来流域生态系统生产服务经济价值持续增长。近 20 年来白龙江流域生态系统生产服务经济价值空间分布格局基本不变,高值区约占 42.4%以上,主要分布在舟曲县城—武都区汉王镇的白龙江两岸及其以北区域,宕昌县西部地区的哈达铺镇至甘江头乡的岷江两岸地区,其次是文县大部分区域,迭部县则相对较低(图 5)。从县域尺度上来看,研究区生态系统生产服务经济价值排序依次为:武都区>宕昌县>文县>舟曲县>迭部县。

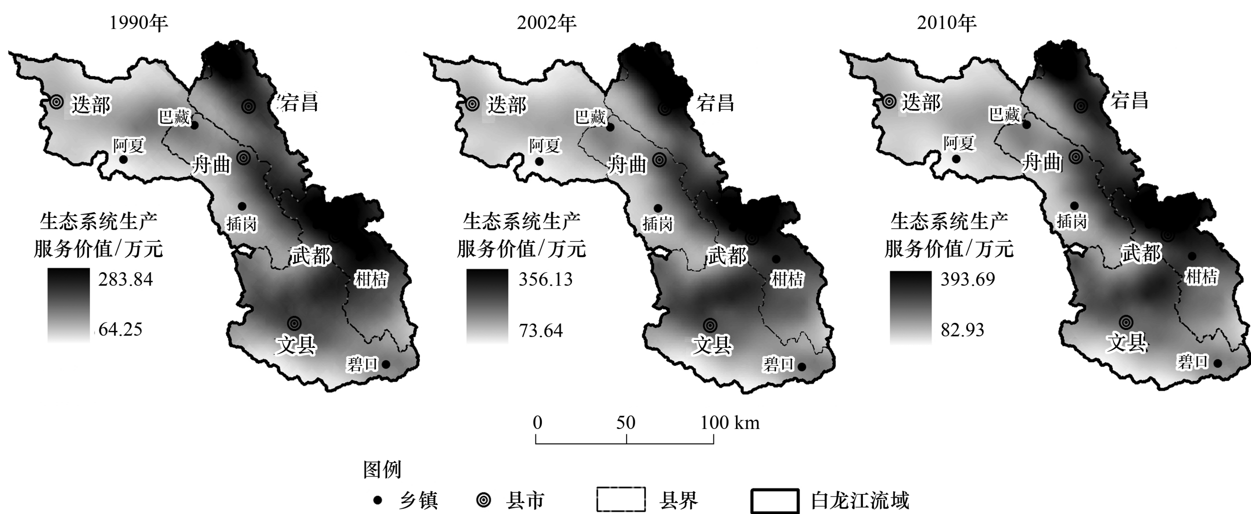


图 5　改进前白龙江流域生态系统生产服务价值动态变化

Fig.5　Ecosystem food production service value changes from 1990 to 2010 with the original method

结合自然条件(环境灾害)与社会发展水平,改进后的流域生态系统生产服务价值变化趋势与仅考虑生态系统自身价值的变化趋势总体上相似,且均呈现不断增长的态势,其平均值由 1990 年的 139.84 万元增至 2010 年的 172.74 万元;但其价值总量在数值上略有差异,其最大值、最小值和平均值均低于修正前的价值,同时改进后的生态系统生产服务经济价值增长幅度(1.18%)也低于改进前的增长幅度(1.94%),表明流域内环境灾害和社会发展水平对区域生产服务价值影响巨大。在空间上,1990—2010 年间改进后的生态系统生产服务价值的分布格局变化不大(图 6)。相对于改进前生态系统生产服务价值空间格局,其高、中、低产区分布格局基本保持一致,但在水土流失和泥石流灾害严重区域,如舟曲县城—武都区汉王镇的白龙江河谷两岸生产服务价值程度则相对减弱,这可能与该区域自然灾害频发有关。

4　讨论

(1)1990—2010 年,尽管白龙江流域耕地面积呈现波动起伏变化,但其生产服务供给功能总体呈现上升趋势,表明研究区自然要素和区位人文社会要素影响着服务功能的变化。研究期间,流域风险呈现微弱减小的趋势,生态环境得到了一定的改善,灾害损失减少,为农业发展提供了良好的环境基础。同时,由于社会发展水平的不断提高,人口的增长,人们对耕地供给功能需求的增加和耕地资源本身的稀缺性,使得在耕地面积减少或变化不大的情况下,其服务价值仍表现出上升的趋势。实地调查与统计分析也表明,在追求更高经济利润驱动下,农业种植结构和经营方式变化、人口的增加、科技进步、社会经济发展以及政策等因素深刻地影响着流域内生态系统生产服务价值的变化。例如,1990—2010 年间研究区人口不断增加,农业种植结构也由以玉米、水稻等粮食作物为主逐渐向以花椒、油橄榄、药材、茶叶等经济作物为主的种植模式转变(图 7);在这

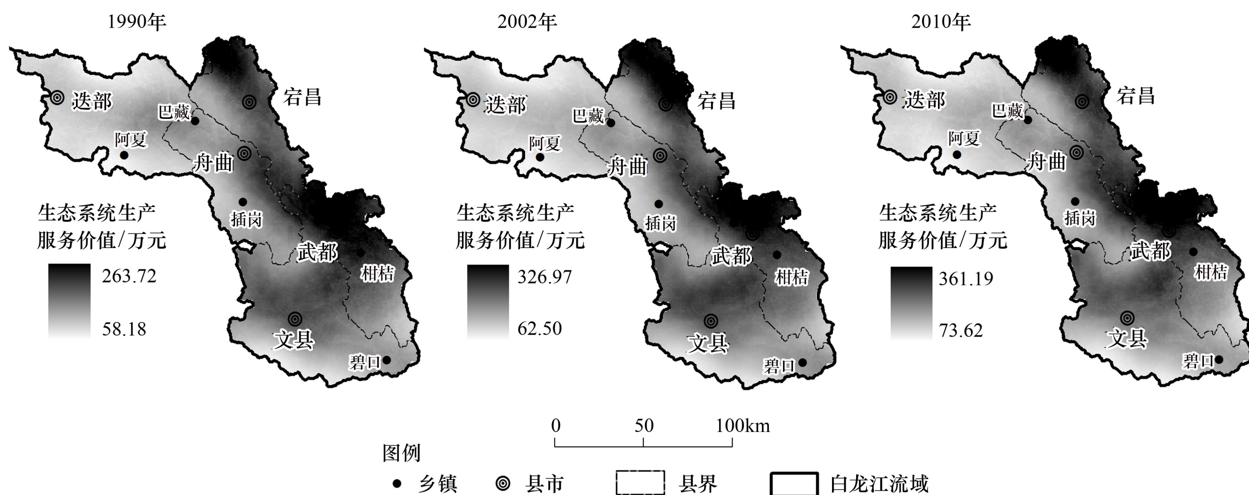


图 6　改进后白龙江流域生态系统生产服务价值动态变化

Fig.6　Ecosystem food production service value changes from 1990 to 2010 with the modified method

样的情形下,单位面积耕地的经济价值会因经济作物较高的经济效益而提升,同时粮油类农产品需求量和价格会因生产量的减少而上升,进而导致生态系统生产服务的市场经济价值明显增加。由此可见,价值的变化是面积和区位自然环境要素、人文社会要素综合作用的结果。因此,在评估生态系统服务价值时,应综合考虑客观环境要素和人文社会因素,正确评估其价值变化。

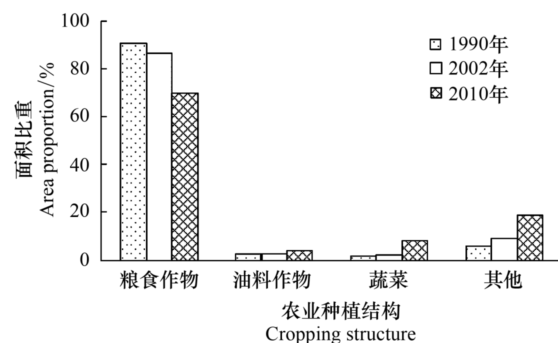


图 7　1990—2010 年甘肃白龙江流域农业种植结构变化

Fig.7　Change of cropping structure from 1990 to 2010 in BRW of Gansu

(2)运用改进后评估方法得到白龙江流域生态系统生产服务价值变化趋势与改进前的相似,均呈现不断增长的态势,但流域生态系统系统生产服务价值的数值相对较小,且在空间上也略有轻微的变化,这可能与研究方法的改进前后的差异性和白龙江流域环境特征有关。首先,Costanza 等提出的基于土地利用面积变化的生态系统服务价值的评估方法,是一种仅考虑生态系统自身属性的客观评估方法,但它忽视了地理环境变化(如灾害)和人们主观价值认知及区域资源紧缺性对生态系统服务价值的影响;同时,该方法运用统一的价值系数表,没有考虑生态系统服务价值的空间异质性[11-14,16-19]。改进后的生态系统生产价值评价方法,有效地考虑主客观因素(地理环境与社会发展)以及不同时期市场价格的影响。其次,白龙江流域绝大部分地区是山高坡陡、水土流失严重的山区,与平原地区相比较,不仅气候较为恶劣、土地资源贫乏、农业生产条件较差,而且社会发展水平较低、农业生产模式落后、农业投资较少,其农田生态系统生产服务价值相对平原农业区的较小。同时,流域内生产服务高值区恰是泥石流、水土流失等灾害的高发区,且近年来局部地区环境灾害发生的频率高、破坏程度强(如 2010 年舟曲特大泥石流灾害)[24,27],给流域生产服务造成极大损失。可见,改进后的研究结果更客观地反映了白龙江流域生态系统生产服务价值的变化,更符合研究区实际情况,同时有效地反映了区域环境地理条件和社会经济发展程度的差异性对研究区生态系统生产服务价值的影响。因此,针对流域生态系统生产服务价值的状况,建议研究区进一步加强和细化区域生态功能区划以及合理规划特色农林产业;其次,坚持生态优先,在加强自然保护区、林业管护区保护的同时,优先发展多年生的经济林果产业(如核桃、油橄榄等),而对地表土壤扰动较大的农作物(如玉米、糜子、马铃薯及疏菜瓜果种植等)则不适宜大规模发展。最后,结合研究区自身农业特色,积极发展“公司+基地+农户”生产组织模式,努力构建从“生产-加工-贸易”一体化的产业发展,同时因地制宜的

发展农牧相结合或立体农业等其他农业生产模式,以实现农业集约化、专业化生产与可持续发展[7]。

5　结论

1990—2010 年间白龙江流域生态风险源高危险区面积比重由 12.87%降至 12.65%,区域环境得到一定的改善;社会经济不断发展,人们对生态系统服务的需求也逐渐上升,耕地资源稀缺性明显。耕地面积表现出先增长后减少的起伏变化,然而生态系统生产服务价值却持续上升(其平均值 149.3 万元增至 186.4 万元);在空间上,流域内生态系统生产服务价值格局变化不大,其高值区约占 42.4%以上,主要分布在宕昌县西北部的岷江两岸地区和舟曲县城—武都区汉王镇的白龙江两岸及其以北区域。同时,改进后白龙江流域生态系统生产服务价值的量相对于改进前的较小。这些差异,反映了自然环境要素和区位人文社会要素对生态系统服务价值的影响。

本文尝试从区域自然环境条件、耕地资源紧缺程度和社会发展程度差异性方面对流域生态系统生产服务价值系数进行调整,旨在通过结合生态系统本身变化、地理环境要素和社会发展变化三者的动态过程来反映区域生态系统生产服务价值的动态变化。与以往静态评估模型相比,对于山大沟深、灾害频发、经济落后的甘肃白龙江流域而言,经过系数调整改进后的生态系统生产服务价值更为客观和真实、更符合流域的实际情况。

参考文献(References):

[1] Swinton S M, Lupi F, Robertson G P, Hamilton S K. Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. Ecological Economics, 2007, 64(2): 245-252.

[2] 白琳红, 王卫, 张玉. 河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价. 生态学报, 2012, 32(7): 2033-2039.

[3] van den Belt M, Blake D. Ecosystem services in New Zealand agro-ecosystems: a literature review. Ecosystem Services, 2014, 9: 115-132.

[4] Yin P H, Fang X Q, Yun Y R. Regional differences of vulnerability of food security in China. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(5): 532-544.

[5] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, Haddad L, Lawrence D, Muir J F, Pretty J, Robinson S, Thomas S M, Toulmin C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science, 2010, 327(5967): 812-818.

[6] 石峰. 基于"公司+基地+农户"模式的贫困山区农业产业化研究. 重庆: 重庆师范大学, 2013.

[7] 孙新章, 周海林, 谢高地. 中国农田生态系统的服务功能及其经济价值. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(4): 55-60.

[8] 严恩萍, 林辉, 王广兴, 夏朝宗. 1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力. 生态学报, 2014, 34(20): 5962-5973.

[9] Wang Q, Liu X H, Yue T X, Wang C L, Wilson J P. Using models and spatial analysis to analyze spatio-temporal variations of food provision and food potential across China's agro-ecosystems. Ecological Modelling, 2015, 306: 152-159.

[10] Estel S, Kuemmerle T, Alcántara C, Levers C, Prishchepov A, Hostert P. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. Remote Sensing of Environment, 2015, 163: 312-325.

[11] 石惠春, 师晓娟, 刘鹿, 何剑, 刘伟, 万海滢. 兰州城市生态系统服务价值评估方法与结果比较. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(2): 30-35.

[12] 李晓赛, 朱永明, 赵丽, 田京京, 李静. 基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究. 中国生态农业学报, 2015, 23(3): 373-381.

[13] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.

[14] Wang W J, Guo H C, Chuai X W, Dai C, Lai L, Zhang M. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution. Environmental Science & Policy, 2014, 44: 62-72.

[15] 谢余初, 巩杰, 赵彩霞. 甘肃白龙江流域水土流失的景观生态风险评价. 生态学杂志, 2014, 33(3): 702-708.

[16] 粟晓玲, 康绍忠, 佟玲. 内陆河流域生态系统服务价值的动态估算方法与应用——以甘肃河西走廊石羊河流域为例. 生态学报, 2006, 26(6): 2011-2019.

[17] 李博, 石培基, 金淑婷, 魏伟, 周俊菊. 石羊河流域生态系统服务价值的空间异质性及其计量. 中国沙漠, 2013, 33(3): 943-951.

[18] Schägner J P, Brander L, Maes J, Hartje V. Mapping ecosystem services' values: current practice and future prospects. Ecosystem Services, 2013, 4: 33-46.

[19] 李双成, 王珏, 朱文博, 张津, 刘娅, 高阳, 王阳, 李琰. 基于空间与区域视角的生态系统服务地理学框架. 地理学报, 2014, 69(11): 1628-1639.

[20] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.

[21] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.

[22] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.

[23] Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 2014, 26: 152-158.

[24] 谢余初. 基于 InVEST 模型的甘肃白龙江流域生态系统服务时空变化研究. 兰州:兰州大学,2015

[25] Straton A. A complex systems approach to the value of ecological resources. Ecological Economics, 2006, 56(3): 402-411.

[26] Huang S L, Wang S H, Budd W W. Sprawl in Taipei's peri-urban zone: responses to spatial planning and implications for adapting global environmental change. Landscape and Urban Planning, 2009, 90(1/2): 20-32.

[27] 谢余初, 巩杰, 张玲玲. 基于 PSR 模型的白龙江流域景观生态安全时空变化. 地理科学, 2015, 35(6): 790-797.